



University of Groningen

## Theory of approximation and disturbance attenuation for linear systems.

Weiland, Sijbren

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

### *Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

### *Publication date:*

1991

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

### *Citation for published version (APA):*

Weiland, S. (1991). Theory of approximation and disturbance attenuation for linear systems. Groningen: s.n.

### **Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

### **Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

## Samenvatting

### Theorie over Approximatie en Storingsontkoppeling voor Lineaire Systemen

In dit proefschrift worden een aantal aspecten bestudeerd uit de theorie over modelvorming, analyse en synthese van lineaire dynamische systemen. Inhoudelijk bestaat dit proefschrift uit twee delen. In het eerste deel (Hoofdstuk 2 tot 5) worden een aantal concepten en structurele eigenschappen van lineaire dynamische systemen bestudeerd. In het tweede deel komen een aantal regeltheoretische problemen aan de orde.

Onder een dynamisch systeem verstaan we een mathematisch model voor de beschrijving van verschijnselen die in de tijd evolueren. Een dynamisch systeem wordt daarbij opgevat als een grootheid die de wetmatigheden van een aantal essentieel geachte variabelen specificceert. Deze wetmatigheden worden beschreven in termen van mathematische vergelijkingen en hebben veelal een fysische oorsprong. Typische voorbeelden van dergelijke wetmatigheden zijn de behoudswetten uit de klassieke mechanica, de thermodynamica en de elektriciteitsleer. Een belangrijk deel van de motivatie voor de in dit proefschrift besproken modelleringsvraagstukken is derhalve verkregen uit de studie van fysische verschijnselen.

Binnen de klassieke systeemtheorie worden de wetmatigheden van een dynamisch systeem doorgaans beschreven in termen van toestandsruimtemodellen of in termen van oorzaak-gevolg relaties tussen de te modelleren variabelen. Voor bepaalde fysische verschijnselen hoeft er echter geen unieke oorzaak-gevolg relatie te bestaan. Het postuleren van een causaal verband tussen modelvariabelen veronderstelt in dat geval meer structuur dan strikt noodzakelijk is, hetgeen belangrijke consequenties voor de studie en analyse van dynamische systemen kan hebben.

In dit proefschrift wordt een alternatief uitgangspunt gekozen voor de beschrijving van dynamische systemen. Het gedrag van een systeem neemt daarbij een centrale plaats in en wordt gedefinieerd als de verzameling van alle tijdsfuncties die het te modelleren fenomeen kan genereren. Tijdsfuncties die tot het gedrag behoren zijn per definitie die tijdsfuncties die verklaarbaar zijn uit de wetmatigheden van het fenomeen. In het bijzonder worden intrinsieke en kwalitatieve eigenschappen van dynamische systemen gebaseerd op definities en concepten op het niveau van het systeemgedrag en gestreefd wordt om deze eigenschappen te classificeren in termen van representaties van dat systeem. Dit formalisme beoogt derhalve een logisch onderscheid te maken

tussen systeemgedrag en specifieke representaties daarvan.

In het eerste deel van dit proefschrift worden systeemrepresentaties van een klasse van lineaire systemen bestudeerd en wordt een voor toepassingen belangrijke techniek voor modelapproximatie gegeneraliseerd. Verder is de eigenschap van dissipativiteit van dynamische systemen geformaliseerd en geclassificeerd op het niveau van het gedrag van een systeem. In het tweede deel van dit proefschrift komen een aantal regeltheoretische problemen aan de orde en worden condities bepaald voor de existentie en synthese van regelsystemen.

Het volgende geeft een korte inhoudsbeschrijving van de afzonderlijke hoofdstukken.

In hoofdstuk 2 wordt dit axiomatische kader voor de bestudering van modellen van dynamische systemen kort uiteengezet. In het bijzonder wordt een aantal fundamentele systeemtheoretische begrippen als regelbaarheid, waarneembaarheid en toestand op een abstract verzamelingstheoretisch niveau geïntroduceerd en wordt ingegaan op de intuïtieve achtergrond van enkele concepten.

In hoofdstuk 3 worden systemen bestudeerd waarvan het gedrag beschreven wordt door een eindig aantal lineaire differentiaalvergelijkingen. Diverse toestandsrepresentaties en parametrisaties van dergelijke systemen worden bepaald en minimale representaties worden geclassificeerd.

In hoofdstuk 4 worden dissipatieve systemen bestudeerd. Dergelijke systemen hebben de eigenschap dat slechts een gedeelte van de aan het systeem toegevoerde energie kan worden opgeslagen. Het overige deel van de toegevoerde energie wordt gedissipeerd. In hoofdstuk 4 wordt getracht dit intuïtieve begrip te formaliseren in termen van mathematische definities. Een aantal conceptuele definities voor dissipativiteit van dynamische systemen wordt geïntroduceerd op het niveau van het gedrag van het systeem. Onderzocht wordt in hoeverre deze begrippen aan elkaar gerelateerd zijn.

In hoofdstuk 5 komen modelapproximatie-problemen aan de orde. Een nieuwe methode voor modelapproximatie wordt geïntroduceerd die is gebaseerd op gebalanceerde toestandsrepresentaties van eindig-dimensionale lineaire tijdsinvariante systemen. Het belangrijkste voordeel van de in dit hoofdstuk beschreven methode ligt in het feit dat geen veronderstellingen over ingangs- en uitgangsgrootheden van het systeem noodzakelijk zijn en dat het systeem niet hoeft te voldoen aan specifieke stabiliteitsvoorwaarden zoals die in de literatuur over gebalanceerde systeemrepresentaties voorkomen.

In de laatste twee hoofdstukken van dit proefschrift komen een aantal regelproblemen aan de orde. Een van de belangrijkste regeldoelen voor dynamische systemen betreft het onderdrukken van storingen die een gegeven systeem beïnvloeden. De mathematische formulering van het storingsonderdrukkingprobleem bestaat uit een gegeven dynamisch systeem waarin twee soorten ingangs- en twee soorten uitgangsgrootheden onderkend worden. De ingangsgrootheden bestaan uit een manipuleerbare

regelingang, en een n  
onbekende signalen l  
en een te regelen, o  
een regel- of terugko  
een regelingang gene  
minimale invloed he  
dat het geregelde sys  
hoofdstuk 6 wordt di  
te regelen variabelen  
tornorm. Minimalisa  
optimaal regelproble  
jk systeem leidt tot d  
Hiebij wordt aangeto  
terugkoppelingsregela  
parameters.

Tenslotte wordt in ho  
stabiliteit opgelost. B  
terugkoppelingssyste  
de invloed van storing  
kiezen is. De analyse  
eaire systemen. Nood  
dit regelprobleem wor  
begrippen als bijna-s  
ruimten liggen aan de  
in de interactie tusse  
enerzijds en het corre

staties van een klasse  
n belangrijke techniek  
ap van dissipativiteit  
o het niveau van het  
ift komen een aantal  
bepaald voor de exis-  
derlijke hoofdstukken.

van modellen van dy-  
n aantal fundamentele  
urheid en toestand op  
wordt ingegaan op de

rag beschreven wordt  
verse toestandsrepre-  
bepaald en minimale

lijke systemen hebben  
n toegevoerde energie  
e energie wordt gediss-  
ormaliseren in termen  
es voor dissipativiteit  
van het gedrag van het  
kaar gerelateerd zijn.

de. Een nieuwe meth-  
eerd op gebalanceerde  
variante systemen. Het  
methode ligt in het feit  
eden van het systeem  
specifieke stabiliteits-  
systeemrepresentaties

en aantal regelproble-  
dynamische systemen  
eem beïnvloeden. De  
obbeem bestaat uit een  
wee soorten uitgangsg-  
uit een manipuleerbare

regelingang, en een niet manipuleerbare storingsingang die de exogene invloed van onbekende signalen beschrijft. De uitgangsgrootheden bestaan uit een meetsignaal en een te regelen, of te beheersen, uitgangssignaal. Doel is om voor dit systeem een regel- of terugkoppelingssysteem te ontwerpen dat op basis van de meetsignalen een regelingang genereert zodanig dat in het geregelde systeem de storingsingang een minimale invloed heeft op het te regelen uitgangssignaal. Verder is het wenselijk dat het geregelde systeem aan kwalitatieve criteria als interne stabiliteit voldoet. In hoofdstuk 6 wordt dit regelprobleem bestudeerd. De invloed van de storingen op de te regelen variabelen wordt gekwantificeerd in termen van een geïnduceerde operatornorm. Minimalisatie van deze norm geeft aanleiding tot de formulering van een optimaal regelprobleem. Een analyse van de toestandsbeschrijving van een dergelijk systeem leidt tot de oplossing van een suboptimale versie van dit regelprobleem. Hiebij wordt aangetoond dat vragen met betrekking tot existentie en synthese van terugkoppelingsregelaars op te lossen zijn in termen van de oorspronkelijke systeem parameters.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 7 het bijna-storingsontkoppelingsprobleem met interne stabiliteit opgelost. Bij dit regelprobleem wordt gestreefd naar het ontwerpen van een terugkoppelingssysteem dat resulteert in een intern stabiel geregeld systeem waarbij de invloed van storingen op de te regelen variabelen in zekere zin willekeurig klein te kiezen is. De analyse van dit probleem behoort tot de geometrische theorie van lineaire systemen. Noodzakelijke en voldoende voorwaarden voor de oplosbaarheid van dit regelprobleem worden gegeven in termen van geometrische objecten. Belangrijke begrippen als bijna-stuurinvariante deelruimten en bijna-stabiliseerbaarheids deelruimten liggen aan de analyse van dit regelprobleem ten grondslag en geven inzicht in de interactie tussen de ingangs- en uitgangssignalen van het te regelen systeem enerzijds en het corresponderende gedrag van toestandstrajecten anderzijds.